

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**TESIS**

**RESPUESTA DEL MELÓN Y SANDÍA AL PBZ Y DEL MAÍZ CON  
PBZ, MICORRIZAS Y AZOSPIRILLUM**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA**

**NORMA DELIA ZAZUETA TORRES**

**DIRECTORA DE TESIS**

**DRA. TERESA DE JESÙS VELÀZQUEZ ALCARAZ**

**CO-DIRECTOR DE TESIS**

**DR. FELIPE AYALA TAFOYA**

**CULIACÁN, SINALOA, ENERO DE 2016**

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **NORMA DELIA ZAZUETA TORRES** BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**COMITÉ PARTICULAR**

DIRECTOR

\_\_\_\_\_

DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ

CO-DIRECTOR

\_\_\_\_\_

DR. FELIPE AYALA TAFOYA

ASESOR

\_\_\_\_\_

DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA

ASESOR

\_\_\_\_\_

DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS

ASESOR

\_\_\_\_\_

MC. MOISÉS GILBERTO YÁÑEZ JUÁREZ



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, la que suscribe Norma Delia Zazueta Torres, alumna del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 05992885, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz y del Dr. Felipe Ayala Tafoya y cede los derechos del trabajo titulado “RESPUESTA DEL MELÓN Y SANDÍA AL PBZ Y DEL MAÍZ CON PBZ, MICORRIZAS Y AZOSPIRILLUM”, a la Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

---

Norma Delia Zazueta Torres

## **DEDICATORIAS**

### **A MIS PADRES**

Luis Zazueta y Sandra Luz Torres quienes me han dado su apoyo incondicional en los mejores y peores momentos de mi vida, sabiendo que no existiría una forma de agradecer toda una vida de sacrificios y esfuerzos, quiero que sientan que el objetivo logrado también es suyo, y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su amor y su apoyo.

### **A MI HIJO**

José Luis Eseberre Zazueta que ha sido mi motor para seguir superándome y luchar por cumplir mis metas, que con sólo una sonrisa me cambia el humor, y su amor inocente ha cambiado mi vida.

### **A MIS HERMANOS**

Martha, Brenda, Lorenzo, Marisol, por su cariño y estar siempre conmigo en momentos importantes de mi vida, pero en especial a mi hermano **Luis** que siempre me ha apoyado incondicionalmente para cumplir mis metas.

### **A MIS PROFESORES**

**Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba**, por haberme aceptado como su tesista y darme todo su apoyo, su tiempo, paciencia, brindarme sus conocimientos para culminar los trabajos logrados.

**Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz**, por compartir conmigo sus conocimientos, por su apoyo, tiempo y dedicación para realizar mi trabajo de tesis.

**Dr. Alejandro Manelik García López**, por su apoyo incondicional y conocimientos brindados durante mi estancia académica en la universidad Autónoma de Baja California.

**Dr. Felipe Ayala Tafoya**, por su apoyo profesional y material.

**M.C. Moisés Gilberto Yáñez Juárez**, por sus consejos como parte de mi comité.

**Dr. Tomas Díaz Valdés**, por sus consejos como parte de mi comité.

A mis amigos y compañeros de maestría, por hacer que todo fuera más ameno durante estos dos años de estudios de posgrado.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma de Sinaloa**, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado en uno de sus programas reconocidos por el CONACYT.

**Al Colegio de Ciencias Agropecuarias**, por darme la oportunidad de estudiar la Maestría en Ciencias Agropecuarias, incluida en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.

**Al CONACYT**, por los recursos facilitados durante el periodo de mis estudios que comprende el programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias que oferta el Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

**A la Facultad de Agronomía y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia**, por facilitarme los medios para estudiar la Maestría en Ciencias Agropecuarias en sus aulas, bibliotecas, laboratorios y campos experimentales.

## CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS -----	I
-	
RESUMEN -----	li
-	
ABSTRACT -----	lii
-	
I. INTRODUCCIÓN -----	1
II. PROBLEMA -----	5
III. HIPÓTESIS -----	5
IV. OBJETIVOS -----	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA -----	7
VI. MATERIALES Y MÉTODOS -----	12
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	15
VIII. CONCLUSIONES -----	21
IX. LITERATURA CITADA -----	22
X. APÉNDICE -----	28

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Contenido de clorofila, altura, área foliar, materia seca en raíz y de parte aérea de plántulas de Melón ( <i>Cucumis melo</i> L.) -----	15
Cuadro 2. Contenido de clorofila, altura, área foliar, materia seca en raíz y de parte aérea, de plántulas de sandía ( <i>Citrullus lanatus</i> L.) -----	16
Cuadro 3. Verdor, diámetro de tallo, altura, área foliar en cultivo de maíz.-----	17
Cuadro 4. Tamaño e hileras de mazorca en cultivo de maíz.-----	18
Cuadro 5. Largo y diámetro de mazorca en cultivo de maíz. -----	19
Cuadro 6. Peso, volumen y rendimiento de cultivo de maíz.-----	20

## RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. En melón y sandía se determinó el efecto que produce el paclobutrazol (PBZ), a través de la dosis de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, en el verdor, altura, área foliar, materia seca de raíz y parte aérea de plántulas, cuya siembra se hizo en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con turba. Los tratamientos fueron  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ y el testigo (agua destilada). La solución de PBZ y agua destilada se aplicaron sólo una vez con un atomizador manual sobre las hojas cotiledonales. En maíz se determinaron los efectos que ocasiona el PBZ, en conjunto con Azospirillum más micorrizas, en el crecimiento y rendimiento de granos del cultivar DK-2030 que se sembró en hileras sencillas en campo abierto. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con parcelas experimentales de seis surcos de 6.0 m de largo separados a 0.80 m entre sí. Los tratamientos fueron 0 (testigo),  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ,  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, Azospirillum + Micorrizas +  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ + y Azospirillum + Micorrizas. En melón y sandía el PBZ, en dosis de  $150 \text{ mg L}^{-1}$ , incrementó el verdor en 26.0 y 19.4%, comparado con los promedios del testigo; en melón, la altura y el área foliar disminuyeron en 16.3 y 24.1%, respectivamente, mientras que en sandía las respectivas disminuciones fueron de 23.4 y 19.1%. En las dos especies, la materia seca de raíces se incrementó en los respectivos 82.1 y 19.7% y la materia seca de la parte aérea en 23.5% en melón y 3.3% en sandía. En el verdor del maíz se lograron incrementos de 14.0, 13.0, 10.7 y 10.6% con los respectivos tratamientos de 150 ó  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, A + M +  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ y A+M, en relación al testigo. El diámetro del tallo se incrementó en 8.0, 3.7, 2.0% con 200 ó  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ y A+M, respectivamente. El rendimiento de grano se incrementó 49.4% con  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, comparado con el testigo, pero también superó en 69.0, 40.9 y 13.9% a lo que se obtuvo con los respectivos tratamientos de  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, A+M+ $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ y A+M.

**Palabras claves:** reguladores de crecimiento, bacterias, verdor.

## ABSTRACT

This research was conducted at the Faculty of Agriculture of the Autonomous University of Sinaloa. In melon and watermelon the effect produced paclobutrazol (PBZ) through 150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ, in the greenness, height, leaf area, dry matter of root and seedling part area was determined, which sowing was done in polystyrene trays of 200 cavities filled with peat. The treatments were 150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ and the control (distilled water). PBZ solution and distilled water were applied only once with a manual atomizer over the cotyledon. In corn the effects caused by the PBZ, together with mycorrhizae more Azospirillum on growth and grain yield DK-2030 cultivar was sown in single rows in open field were determined. The experimental design was randomized complete block with four replications, with plots six rows of 6.0 m to 0.80 m apart from each other along. The treatments were 0 (control), 150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ, 200 mg L<sup>-1</sup> of PBZ, mycorrhizae + Azospirillum (A+M) + 150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ and Azospirillum + mycorrhizae. In melon and watermelon PBZ, in doses of 150 mg L<sup>-1</sup>, increased the greenness at 26.0 and 19.4%, compared with the average of the control; melon, height and leaf area decreased in 16.3 and 24.1%, respectively, while watermelon respective decreases were 23.4 and 19.1%. In both species, root dry matter increased in the respective 82.1 and 19.7% and the dry matter of the aerial part in 23.5% in melon and 3.3% in watermelon. In greenness of the corn the increments were of 14.0, 13.0, 10.7 and 10.6% with the respective treatments of 150 or 200 mg L<sup>-1</sup> of PBZ were achieved, A+M+150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ and A+M, regarding to the control. Stem diameter was increased by 8.0, 3.7, 2.0% with 200 or 150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ and A+M, respectively. Grain yield increased 49.4% with 150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ, compared with the control, but also exceeded 69.0, 40.9 and 13.9% of what was obtained with the respective treatments of 200 mg L<sup>-1</sup> of PBZ, A+M+150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ and A+M.

**Keywords:** growth regulators, bacteria, greenness.

## I. INTRODUCCIÓN

Entre las cucurbitáceas cultivadas están el melón y la sandía, con las cuales se sembraron 18,457 y 35,406 ha, respectivamente, durante el año agrícola (OI y PV) 2014, de donde se obtuvo una producción de 526,990 t de melón y 946,458 t de sandía (SIAP, 2015).

Pallardy (2008) reportó que el uso de reguladores de crecimiento es un medio alternativo para modificar el crecimiento de los brotes y la acumulación de biomasa. Las respuestas que se producen en las plantas por el uso de reguladores de crecimiento son diversas: hay alteración de compuestos en las yemas, redistribución de fotosintatos destinados al crecimiento de la copa hacia compuestos de defensa, crecimiento del sistema radical y almacenamiento de energía (Lilly, 2001).

Actualmente son varias las tecnologías que se utilizan como retardantes de crecimiento, dentro de las cuales está el paclobutrazol (PBZ) que se caracteriza por retrasar la división y alargamiento celular en tejidos del brote en activo crecimiento, sin provocar malformaciones en los tallos o en las hojas (Rojas y Rovalo, 1985). Con dicha sustancia se ha sido capaz de reducir la elongación de brotes, la expansión de hojas y el crecimiento en diámetro del tallo en muchas especies de árboles (Burch *et al.*, 1996), ya que siendo un activo inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico, retarda la división y alargamiento celular y, en consecuencia, el crecimiento en longitud del tallo de las plantas (Tadao *et al.*, 2000). El retardante es absorbido pasivamente a través de las hojas, tallos y raíces, translocándose por el xilema hasta los puntos de crecimiento, donde al impedir la acción de la giberelina reduce la división celular en la parte subapical (Early y Martín, 1988).

El paclobutrazol (PBZ) tiene propiedades reguladoras de crecimiento vegetal y ha sido reportado como inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico e incrementa el contenido de citocininas y ácido abscísico (Gopi *et al.*, 2009). Mediante dosis de 12 y 24 mL L<sup>-1</sup> de PBZ, combinado con 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, se

disminuye la altura y madurez de las plantas de maíz, pero también incrementa su grosor de tallo y el rendimiento de materia seca; asimismo, el contenido de clorofila a y b en relación con las plantas testigo o aquellas que no fueron tratadas con PBZ (Iremiren *et al.*, 2002).

Otros autores, como Keever *et al.* (1990), Singh (2000), George y Nissen (2002), Williams *et al.* (2003), Bai *et al.* (2004) y Grochowska *et al.* (2004), también han reportado que entre los reguladores de crecimiento se encuentra el paclobutrazol (PBZ), un inhibidor de las giberelinas que se aplica como solución al suelo donde se localizan las raíces de los árboles, que una vez absorbido y traslocado a la copa, éste provoca una reducción de crecimiento en longitud y diámetro de los brotes nuevos.

Diversos trabajos de investigación han demostrado la efectividad del PBZ para incrementar el crecimiento de raíces (Watson, 1996); aumentar el número, longitud y diámetro de raíces en pepino, cuando las semillas son remojadas en solución con 40 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, pero la longitud del hipocótilo se reduce (Ali, 2009). En plántulas de pimiento morrón y berenjena, la dosis de 150 mg·L<sup>-1</sup> incrementó la materia fresca y seca de raíz y la materia seca de la parte aérea (Partida *et al.*, 2007).

Con la reducción en el crecimiento de las plantas que ocasiona el PBZ, se incrementa el almacenamiento de carbohidratos (sustancias de reserva de las plantas) y también se incrementa la producción de clorofila y con ello la de carbohidratos (Percival y Albalushi, 2007); sin embargo, en el árbol llamado chopo blanco (*Populus alba* L.), especie que en ambientes urbanos se utiliza con fines ornamentales, el PBZ (0.4 y 0.8 g/planta con poda severa) afectó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el crecimiento de tronco, hojas y la relación de azúcares totales/reductores, aunque el efecto se perdió en la siguiente etapa de crecimiento, y quizás debido a que los valores de fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) se vieron disminuidos, el PBZ no mejoró la vitalidad de la planta (Martínez *et al.*, 2013). Contrario a esto último, varios autores ha referido que el PBZ

incrementa la vitalidad de las plantas, entendida ésta como la habilidad para tolerar estreses de origen biótico o abiótico (Navarro *et al.*, 2007; Percival y Albalushi, 2007; Sharma *et al.*, 2011)

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estimó, para el ciclo 2013-2014, una producción mundial de maíz de 973.9 millones de t, de las cuales 21 millones correspondieron a la producción de México. Sin embargo, la misma USDA ha estimado que la producción será de 991.58 millones de t, para el ciclo 2014-2015, de las cuales México aportará 23 millones de t (USDA, 2015).

Las bacterias del género *Azospirillum* spp. mejoran el crecimiento vegetal, dada la producción y liberación de fitohormonas: auxinas, citocininas y giberelinas. Estas hormonas vegetales promueven la capacidad de *Azospirillum* spp. como fijadora de nitrógeno (De Bashan *et al.*, 2007). La fitohormona más importante producida por *Azospirillum* spp. es la auxina ácido indol-3-acético (AIA). Las plantas presentan cambios morfológicos en las raíces, así como también una mejor absorción de minerales después de inocularse con *Azospirillum* spp.; estos cambios se atribuyen a la liberación de AIA de esta bacteria (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000).

Estas bacterias a menudo, ha sido utilizadas como inoculantes en gramíneas y otras especies vegetales (De Bashan *et al.*, 2008; De Bashan *et al.*, 2010). Su aplicación es tecnológicamente aceptable (Díaz-Franco *et al.*, 2005), además de que son capaces de producir compuestos hormonales (De Bashan *et al.*, 2008; Hernández-Mendoza *et al.*, 2010) que pueden contribuir al buen desarrollo de las plantas tratadas, en las cuales se pueden mejorar caracteres como el alargamiento de raíces e incremento en la biomasa producida por las plantas inoculadas.

Las micorrizas son uno de los tipos de simbiosis más abundante de la biosfera, que mejoran la absorción de agua y nutrientes de la raíz, permitiendo que colonicen los suelos más pobres. Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) constituyen un grupo de microorganismos cosmopolitas. Son

habitantes del suelo pertenecientes al *Phylum Glomeromycota* que forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas (Kivlin *et al.*, 2011). Presentan destacada importancia, particularmente por su papel como agentes de transporte de nutrientes de baja movilidad, como P y Zn, hacia la planta (Siddiqui *et al.*, 2008), por lo que son utilizados como biofertilizantes luego de una correcta selección de los HMA más eficientes (Miransari, 2011). La mayoría de los cultivos de importancia agrícola forman micorrizas arbusculares y, en muchos casos, evidencian incrementos de la nutrición mineral y el crecimiento (Siddiqui *et al.*, 2008).

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se desconocen los efectos que el paclobutrazol ocasiona en el contenido de clorofila (verdor) y en el crecimiento del tallo, área foliar, materia seca de raíces y de la parte aérea de las plántulas de melón y sandía.

Actualmente se desconoce cuál es la respuesta del maíz en el crecimiento y rendimiento de grano por hectárea, después que sus semillas han sido inoculadas con *Azospirillum* y/o micorrizas y las plantas han recibido una aplicación de paclobutrazol sobre el follaje durante la etapa fenológica de seis hojas verdaderas, más una fertilización con 250 kg ha<sup>-1</sup> de N en la misma etapa.

## III. HIPÓTESIS

El paclobutrazol es una sustancia que en plántulas de melón y sandía actúa reduciendo la altura del tallo y el área foliar, pero incrementa el contenido de clorofila, la materia seca de la raíz y de la parte aérea.

Las plantas de maíz cultivadas solamente con paclobutrazol o las que provienen de semillas inoculadas con *Azospirillum* y/o micorrizas tratadas con paclobutrazol durante la etapa fenológica de seis hojas verdaderas más 250 kg ha<sup>-1</sup> de N, incrementan su crecimiento y rendimiento de grano en comparación con las que se cultivan de forma convencional con la misma cantidad de nitrógeno por hectárea.

## IV. OBJETIVOS

Determinar el efecto que produce el paclobutrazol, a través de las dosis de 150 y 200 mg L<sup>-1</sup> de agua, en el contenido de clorofila (verdor), altura, área foliar, materia seca de raíz y parte aérea de plántulas de melón y sandía.

Determinar el efecto que en el crecimiento y rendimiento de grano por hectárea del maíz ocasionan el paclobutrazol aplicado durante la etapa fenológica de seis hojas verdaderas, o cuando las semillas son inoculadas con *Azospirillum* y/o micorrizas y las plantas son tratadas con paclobutrazol y 250 kg ha<sup>-1</sup> de N durante la misma etapa.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

En México el maíz es el principal cultivo, al participar con 18% del valor de la producción del sector agrícola. Todas las entidades del país presentan algún nivel de producción de maíz, sin embargo, siete entidades concentran el 64.5% del volumen de producción nacional. Sinaloa es el principal productor al concentrar el 16.5% del total. Le siguen en importancia Jalisco, Michoacán, Estado de México, Chiapas, Guerrero y Veracruz. El rendimiento nacional alcanza en promedio las 3.2 t ha<sup>-1</sup>, siendo el rendimiento de temporal de 2.2 t ha<sup>-1</sup> y el de riego de 7.5 t ha<sup>-1</sup>. (SIAP, 2015).

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) la producción mundial de maíz fue de 973.9 millones de t en el ciclo 2013-2014, de las cuales 21 millones correspondieron a la producción de México. Sin embargo, también estimó que la producción para el ciclo 2014-2015 sería de 991.58 millones de t, de las cuales México aportaría 23 millones de t (USDA 2015).

El paclobutrazol (PBZ) tiene propiedades reguladoras de crecimiento vegetal y ha sido reportado como inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico e incrementa el contenido de citocininas y ácido abscísico (Gopi *et al.*, 2009). El retardante es absorbido pasivamente a través de las hojas, tallos y raíces, translocándose por el xilema hasta los puntos de crecimiento, donde al impedir la acción de la giberelina reduce la división celular en la parte subapical (Early y Martín, 1988).

Pallardy (2008) reportó que el uso de reguladores de crecimiento es un medio alternativo para modificar el crecimiento de los brotes y la acumulación de biomasa. Las respuestas que se producen en las plantas por el uso de reguladores de crecimiento son diversas: hay alteración de compuestos en las yemas, redistribución de fotosintatos destinados al crecimiento de la copa hacia compuestos de defensa, crecimiento del sistema radical y almacenamiento de energía (Lilly, 2001).

Mediante dosis de 12 y 24 mL L<sup>-1</sup> de PBZ, combinado con 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, se disminuye la altura y madurez de las plantas de maíz, pero también incrementa su grosor de tallo y el rendimiento de materia seca; así mismo, el contenido de clorofila a y b con relación a las plantas testigo o aquellas que no fueron tratadas con PBZ (Iremiren *et al.*, 2002).

En trigo, el paclobutrazol (PBZ) disminuye ligeramente la altura de las plantas al ser aplicado en dosis de 40, 80 ó 120 g ha<sup>-1</sup>; en tanto que la producción de materia seca de la parte aérea no varía, y el rendimiento se incrementa en relación al testigo (Espíndula *et al.*, 2009).

En cultivo de maíz, con PBZ a dosis de 150, 300 ó 450 mg L<sup>-1</sup>, se lograron incrementos de 8.6, 6.8 y 7.3% en el verdor del follaje, en comparación con las plantas testigo. Similar fue el resultado obtenido en diámetro de tallo, ya que se estimaron incrementos de 5.5, 0.8 y 4.3% en las plantas tratadas con 150, 300 ó 450 mg L<sup>-1</sup> de PBZ con respecto al diámetro de tallos de las plantas testigo (Partida *et al.*, 2007).

Otros autores, como Keever *et al.* (1990), Singh (2000), George y Nissen (2002), Williams *et al.* (2003), Bai *et al.* (2004) y Grochowska *et al.* (2004), también han reportado que entre los reguladores de crecimiento se encuentra el paclobutrazol (PBZ), un inhibidor de las giberelinas que se aplica como solución al suelo donde se localizan las raíces de los árboles, que una vez absorbido y translocado a la copa, éste provoca una reducción de crecimiento en longitud y diámetro de los brotes nuevos.

Diversos trabajos de investigación han demostrado la efectividad del PBZ para incrementar el crecimiento de raíces (Watson, 1996); aumentar el número, longitud y diámetro de raíces en pepino, cuando las semillas son remojadas en solución con 40 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, pero la longitud del hipocótilo se reduce (Ali, 2009). En plántulas de pimiento morrón y berenjena, la dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> incrementó la materia fresca y seca de raíz y la materia seca de la parte aérea (Partida *et al.*, 2007).

Con la reducción en el crecimiento de las plantas que ocasiona el PBZ, se incrementa el almacenamiento de carbohidratos (sustancias de reserva de las plantas) y también se incrementa la producción de clorofila y con ello la de carbohidratos (Percival y Albalushi, 2007); sin embargo, en el árbol llamado chopo blanco (*Populus alba* L.), especie que en ambientes urbanos se utiliza con fines ornamentales, el PBZ (0.4 y 0.8 g/planta con poda severa) afectó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el crecimiento de tronco, hojas y la relación de azúcares totales/reductores, aunque el efecto se perdió en la siguiente etapa de crecimiento, y quizás debido a que los valores de fluorescencia de la clorofila ( $F_v/F_m$ ) se vieron disminuidos, el PBZ no mejoró la vitalidad de la planta (Martínez *et al.*, 2013). Contrario a esto último, varios autores ha referido que el PBZ incrementa la vitalidad de las plantas, entendida ésta como la habilidad para tolerar estreses de origen biótico o abiótico (Navarro *et al.*, 2007; Percival y Albalushi, 2007; Sharma *et al.*, 2011).

La agricultura a nivel mundial ha buscado alternativas biológicas para mejorar la sustentabilidad de la producción de los cultivos. La utilización de biofertilizantes se considera una opción para sustituir parcial o totalmente el uso de los fertilizantes químicos. Las bacterias que interaccionan con plantas son consideradas como una opción viable para desarrollar biofertilizantes (Caballero-Mellado, 2006); en particular, aquellas del género *Azospirillum* spp., que es una bacteria de vida libre, fijadora de nitrógeno, aislada de la rizósfera y productora de fitohormonas (Bashan *et al.*, 2004).

Las bacterias del genero *Azospirillum* spp. mejoran el crecimiento vegetal, dada la producción y liberación de fitohormonas: auxinas, citocininas y giberelinas. Estas hormonas vegetales promoverán la capacidad de *Azospirillum* spp. como fijadora de nitrógeno (De Bashan *et al.*, 2007). La fitohormona más importante producida por *Azospirillum* spp. es la auxina ácido indol-3-acético (AIA). Las plantas presentan cambios morfológicos en las raíces, así como también una mejor absorción de minerales después de inocularse con *Azospirillum* spp.; estos

cambios se atribuyen a la liberación de AIA de esta bacteria (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000).

Las bacterias del género *Azospirillum* spp.; a menudo, ha sido utilizadas como inoculantes en gramíneas y otras especies vegetales (De Bashan *et al.*, 2008; De Bashan *et al.*, 2010). Su aplicación es tecnológicamente aceptable (Díaz-Franco *et al.*, 2005), además de que son capaces de producir compuestos hormonales (De Bashan *et al.*, 2008; Hernández-Mendoza *et al.*, 2010) que pueden contribuir al buen desarrollo de las plantas tratadas, en las cuales se pueden mejorar parámetros, como el alargamiento de raíces e incremento en la biomasa producida por las plantas inoculadas.

Estudios revelan que la inoculación con *Azospirillum brasilense* incrementa en 35% el rendimiento de grano en maíz respecto de plantas no inoculadas (García-Olivares *et al.*, 2012). La asociación de *Azospirillum* con la planta da como resultado cambios importantes en diferentes parámetros del crecimiento, tales como: el incremento en el desarrollo radicular de la planta, mayor desarrollo de materia verde y mayor producción de materia seca (García-Olivares *et al.*, 2007; Díaz-Franco y Ortegón, 2006).

Las micorrizas son uno de los tipos de simbiosis más abundante de la biosfera, que mejoran la absorción de agua y nutrientes de la raíz, permitiendo que colonicen los suelos más pobres. Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) constituyen un grupo de microorganismos cosmopolitas Son habitantes del suelo pertenecientes al *Phylum Glomeromycota* que forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas (Kivlin *et al.*, 2011). Presentan destacada importancia, particularmente por su papel como agentes de transporte de nutrientes de baja movilidad, como P y Zn, hacia la planta (Siddiqui *et al.*, 2008) por lo que son utilizados como biofertilizantes luego de una correcta selección de los HMA más eficientes (Miransari, 2011). Las plantas de la mayoría de los cultivos de importancia agrícola forman micorrizas arbusculares y, en

muchos casos, evidencian incrementos de la nutrición mineral y el crecimiento (Siddiqui *et al.*, 2008).

La función principal de la micorriza es facilitarle a la planta la adquisición y absorción de agua, fósforo y nitrógeno, principalmente; sin embargo, esta asociación proporciona otros beneficios a las plantas, entre los que destacan: la protección ante el ataque de parásitos, hongos patógenos y nematodos, el aumento de su resistencia a la herbívora, influyendo en la producción de sustancias defensivas por parte de la misma planta, la limitación de la absorción de metales pesados tóxicos como el zinc y el cadmio que son alojados en sus hifas, aumento del área de exploración de la raíz, lo que incrementa el flujo de agua del suelo a la planta (Camargo-Ricalde, 2001; 2002).

Existen estudios que reportan que la micorriza genera una extensa red de micelio externo que explora el suelo en la búsqueda de recursos (nutrimentos y agua) e interconecta a las raíces de plantas de la misma especie e, incluso, de especies diferentes (Simard y Durall, 2004).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada entre las coordenadas geográficas 24° 48' 28" latitud norte y 107° 24' 30" longitud oeste, km 17.5 carretera Culiacán-Eldorado, durante el ciclo agrícola 2013-2014. Se utilizó melón chino 'Saturno' y sandía 'Jubilee'. La siembra se realizó el 21 de octubre de 2013 en charolas de poliestireno con 200 cavidades rellenas con peat moss. Las plántulas se regaron con la frecuencia necesaria y se fertilizó con 1.0 g L<sup>-1</sup> de N, utilizando urea como fuente de nitrógeno. Asimismo, se sembró maíz 'DK-2030' con las que se formaron hileras sencillas bajo condiciones de campo abierto.

El diseño experimental que se usó fue de bloques completos al azar con dos repeticiones, cada unidad experimental constó de 20 plantas seleccionadas al azar. Los tratamientos fueron las dosis de 0 (testigo) y 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ. Las dosis se aplicaron sólo una vez, a través de 25 disparos con un atomizador, sobre las hojas cotiledonales de las plántulas el día 30 de octubre de 2013. A los 8 días después de la aplicación (dda) del PBZ, se evaluó el contenido de clorofila con un Spad 502, ésta se efectuó en la parte media de una hoja de 20 plantas seleccionadas al azar; la altura se midió a los 12 dda, desde la base del tallo hasta la yema apical de la planta. El área foliar de las plantas de melón se evaluó en la primera hoja verdadera a los 20 dda, y fue calculada con base a la fórmula propuesta por Panta y NeSmith (1995) y la de sandía con la de Roupheal *et al.* (2010). Las raíces y parte aérea de las plántulas 46 días después, se sometieron a 72 h en estufa hasta peso seco constante, para luego determinar dicho peso seco en una báscula de precisión.

En el experimento con maíz, las parcelas experimentales constaron de cinco surcos de 5.0 m de largo con separación de 0.80 m entre sí, donde los tres surcos centrales fueron la parcela útil. La siembra se realizó el día 02 de enero de 2014, después de haber realizado un riego de pre-siembra por gravedad, y durante el

ciclo del cultivo se aplicaron cuatro riegos de auxilio, también por gravedad, con lo que se indujo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Todas las parcelas experimentales se manejaron con  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  de N a partir de urea aplicado al 100% el día 03 de febrero de 2014, antes del primer riego de auxilio. La cosecha se realizó de forma manual, asimismo, el desgrane de mazorcas. Previo a la siembra fue necesario realizar análisis del suelo para conocer algunas propiedades físicas y químicas, tales como  $\text{pH}=7.6$ ,  $\text{CE}=0.92 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $\text{MO}=0.86$ ,  $\text{N}=147 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $\text{P}=28.7 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, cada unidad experimental constó de 10 plantas seleccionadas al azar. Los tratamientos utilizados fueron: 0 (testigo),  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ,  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, *Azospirillum*+micorrizas y,  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ+*Azospirillum*+Micorrizas. En los tratamientos dos, tres y cinco, las dosis de PBZ fueron aplicadas de forma foliar en sólo una ocasión, el día 27 de enero, cuando las plantas estaban en la etapa de seis hojas verdaderas, utilizando una bomba de motor; mientras que en los tratamientos cuatro y cinco, las semillas fueron inoculadas antes de la siembra.

Las variables evaluadas fueron: verdor (contenido de clorofila), altura de plantas, diámetro de tallo, altura de planta, área foliar, tamaño de mazorca, hileras de granos por mazorca, diámetro de mazorca, largo de mazorca, peso y volumen de 1000 granos y rendimiento de grano por unidad de superficie.

El verdor (contenido de clorofila) de las hojas se determinó con un Spad 502, a los 18 días después de la aplicación de PBZ, tomando la parte central de la tercera hoja de arriba hacia abajo de la planta. El diámetro de tallo se midió con un vernier en el segundo entrenudo, la altura de planta se midió con un estadal desde la superficie del suelo hasta la parte apical de la espiga. El área foliar se determinó con la fórmula de Sezer *et al.* (2009) en la hoja ubicada antes de la primera mazorca. El tamaño de mazorca se determinó separando las mazorcas cosechadas en diez plantas, seleccionadas en grandes y chicas, El número de hileras de mazorcas se determinó contando el total de carreras de diez mazorcas seleccionadas al azar. El peso de 1000 granos se realizó tomando una muestra de

cada repetición, pesando con una báscula de precisión; el volumen de 1000 granos se obtuvo en una probeta de 1000 mL a la cual se le depositaron 400 mL de agua y se le agregaron los 1000 granos, el resultado fue el valor observado después de depositar los granos; mientras que el rendimiento por hectárea se determinó con la producción de granos por parcela útil.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad de cometer error, utilizando el paquete estadístico MINITAB 16.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Melón y sandía

En el Cuadro 1 se puede observar que el verdor de las hojas de melón tuvo su mayor expresión en las plántulas tratadas con 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, en relación con el testigo; el incremento fue de 26%, pero las mismas plántulas tuvieron 16.3% menos de altura y 24.1% menos de área foliar; sin embargo, la materia seca de raíz se incrementó en 82.1%, y aunque la materia seca de la parte aérea se expresó sin diferencias estadísticas, dicha materia se incrementó en 23.5%, en comparación al promedio de materia seca de las plántulas testigo.

Cuadro 1. Verdor, altura, área foliar, materia seca en raíz y de parte área de plántulas de melón (*Cucumis melo* L.).

Dosis de PBZ (mg L <sup>-1</sup> )	Verdor (U. Spad)	Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Materia seca	
				Raíz (g)	Parte aérea (g)
150	38.2 a*	11.3 b	7.955 b	0.1275 a	0.7475 a
0 (testigo)	32.0 b	13.5 a	10.475 a	0.0700 b	0.6050 a

PBZ=Paclobutrazol. \*Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En plántulas de sandía, el PBZ ocasionó un incremento de 19.4% en el verdor en comparación con las testigo (Cuadro 2); también provocó que en altura crecieran 23.4% menos y en área foliar 19.1%; no obstante, la materia seca de las raíces se incrementó 19.7% y la de la parte aérea 3.3%.

El incremento del verdor, que tiene estrecha correlación con el contenido de clorofila y coincide con lo reportado por Percival y Albalushi (2007), ya que ellos también encontraron más clorofila en las plantas tratadas con PBZ, pero discrepa con los resultados reportados por Martínez *et al.* (2013), porque ellos observaron disminución de los valores de la fluorescencia de clorofila (Fv/Fm).

Los resultados en altura de las plántulas también coinciden con los de Keever *et al.* (1990), Singh (2000), George y Nissen (2002), Williams *et al.* (2003), Bai *et al.* (2004) y Grochowska *et al.* (2004), ya que estos autores han reportado que el PBZ, una vez absorbido y traslocado a la copa de las plantas, provoca reducción del crecimiento en longitud de los brotes nuevos. Por el lado de la disminución del tamaño de las hojas, los resultados aquí expuestos coinciden con los de Burch *et al.* (1996), puesto que ellos descubrieron que el PBZ, además de reducir la elongación de brotes, reduce la expansión de hojas en muchas especies de árboles. En tanto que los resultados en materia seca de raíces y de la parte aérea son coincidentes con los de Partida *et al.* (2007), toda vez que ellos descubrieron que en plántulas de pimiento morrón y berenjena se incrementó la materia fresca y seca de raíz y la materia seca de la parte aérea, después de haber aplicado 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ.

Cuadro 2. Verdor, altura, área foliar, materia seca en raíz y de parte aérea de plántulas de sandía [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai].

Dosis de PBZ (mg L <sup>-1</sup> )	Verdor (U. Spad)	Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Materia seca	
				Raíz (g)	Parte aérea (g)
150	35.3 a*	9.5 b	6.197 b	0.1825 a	0.7775 a
0 (testigo)	27.9 b	12.4 a	7.660 a	0.1525 b	0.7525 a

PBZ=Paclotrazol. \*Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

## 7.2. Maíz

En el Cuadro 3 se pueden observar diferencias estadísticas significativas para el verdor del follaje, éste fue mayor en plantas que recibieron los diferentes tratamientos con respecto a las plantas testigo. De tal manera que con 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ se tuvo un incremento de 14.7%, con 200 mg aumentó 13.4%, mientras que con A+M+150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ o A+M los incrementos fueron de 10.7% con respecto al testigo. El diámetro del tallo se expresó con los promedios que se

observan en el Cuadro 3, con los que se estimaron incrementos de 8.0, 3.7 y 2.0% en las plantas tratadas con 200 y 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, o con A+M, respectivamente, y una disminución del 2.0% en las plantas tratadas con A+M+150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, en relación al diámetro de tallos de las plantas testigo. En altura de planta se detectaron diferencias estadísticas significativas, donde todas las plantas que recibieron los diferentes tratamientos mostraron menor altura que las plantas testigo, las cuales superaron en 8.7, 10.2, 6.2 y 2.3% a aquéllas cultivadas con 150 y 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, asimismo sobre las que se cultivaron con 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ+A+M o sólo con A+M, respectivamente. En el área foliar no se observaron diferencias estadísticas, pero se observó que los promedios obtenidos de las plantas en las que se asperjó alguno de los tratamientos con PBZ y/o microorganismos, el área foliar disminuyó en comparación a la que estimó en las plantas testigo, disminuciones que oscilaron de 2.1 a 4.6%.

Cuadro 3. Verdor, diámetro de tallo, altura, área foliar en plantas de maíz.

Tratamiento	Verdor (U. Spad)	Diámetro de tallo (cm)	Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
150 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	42.34 a*	2.052 a	227.2 bc	1170.00 a
200 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	41.84 a	2.137 a	224.2 c	1142.38 a
A+M+150 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	40.86 a	1.942 a	232.7 abc	1109.76 a
A+M	40.85 a	2.020 a	241.6 ab	1142.40 a
Testigo	36.90 b	1.978 a	247.1 a	1195.80 a

PBZ=Paclbutrazol. A=*Azospirillum*. M=Micorrizas. \*Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El incremento del verdor, que tiene estrecha correlación con el contenido de clorofila (Fenech *et al.*, 2009), coincide con lo reportado por Percival y Albalushi (2007), ya que ellos también encontraron más clorofila en las plantas tratadas con PBZ. Los incrementos observados en el diámetro de tallos en las plantas tratadas con PBZ, también tienen relación con los resultados de Partida *et al.* (2007) y Velázquez *et al.* (2008), ya que los primeros obtuvieron mayor producción de materia seca en las raíces y la parte aérea de pimiento morrón y berenjena

tratadas con PBZ; mientras que los segundos reportaron incrementos del crecimiento del tallo en plantas de tomate que fueron asperjadas con dosis de 250, 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup> de PBZ.

Con respecto al número de mazorcas grandes o chicas no se observaron diferencias significativas (Cuadro 4), pero en las plantas tratadas con PBZ y/o A+M, hubo incrementos de 1.9 a 64.8% en mazorcas grandes en comparación al mismo tamaño del citado órgano de las plantas testigo, mientras que con respecto al número de mazorcas chicas que se cosecharon en las parcelas donde se aplicaron 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ o A+M+150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, los incrementos fueron 38.3% más que el número promedio del testigo, ya que donde se aplicaron 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ o A+M los números promedio fueron 29.0 y 12.4%, respectivamente, menores en comparación al del testigo. Sin embargo, las hileras por mazorca, tanto en grandes como en chicas, no variaron estadísticamente; no obstante, las mazorcas que se cosecharon de las plantas tratadas con 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, tuvieron 2.7% más hileras de granos que las mazorcas de las plantas testigo, mientras que con la misma dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, las mazorcas más chicas tuvieron 4.1% más hileras que las observadas en las mazorcas del testigo.

Cuadro 4. Tamaño e hileras de mazorca en cultivo de maíz.

Tratamiento	No. de mazorcas		No. de hileras	
	Grandes	Chicas	Mazorca grande	Mazorca chica
150 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	22.25 a*	66.75 a	17.88 a	17.02 a
200 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	14.00 a	34.25 a	17.35 a	17.20 a
A+M+150 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	13.75 a	66.75 a	17.68 a	16.90 a
A+M	22.00 a	42.25 a	17.40 a	16.55 a
Testigo	13.50 a	48.25 a	17.40 a	16.35 a

PBZ=Paclobutrazol. A=*Azospirillum*. M=Micorrizas. \*Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En el Cuadro 5 se puede apreciar que no se observaron diferencias significativas en lo largo y grueso de las mazorcas, tanto en las clasificadas como grandes o chicas, pero las que fueron cosechadas de plantas tratadas con 150 ó 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ fueron 10.8 y 7.8% más largas que las testigo; mientras que las cosechadas de las parcelas cultivadas con A+M+150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ fueron 1.4 y 1.2% más grandes en comparación a las testigo. A su vez las mazorcas chicas obtenidas de las plantas que recibieron las respectivas dosis de 150 ó 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ o bien sólo A+M, fueron 5.2, 7.5 y 5.1% más largas que las del testigo, ya que las cosechadas de las parcelas manejadas con A+M+150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, fueron 3.6% menos largas que las del testigo (Cuadro 5). El diámetro de mazorca tampoco varió estadísticamente en las mazorcas clasificadas como grandes o chicas, pero el promedio general (4.6 cm) de las primeras fue 12.2% mayor que el promedio general (4.1 cm) de las segundas, cuando las plantas fueron manejadas con 150 ó 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, con A+M+150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ o bien con sólo A+M, aunque ninguno de los dos promedios fue diferente de los diámetros de las mazorcas testigo.

Cuadro 5. Largo y diámetro de mazorca en cultivo de maíz.

Tratamiento	Largo (cm)		Diámetro (cm)	
	Mazorca grande	Mazorca chica	Mazorca grande	Mazorca chica
150 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	14.435 a*	10.795 a	4.825 a	4.245 a
200 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	14.030 a	11.040 a	4.630 a	4.165 a
A+M+150 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	13.260 a	9.895 a	4.638 a	4.035 a
A+M	13.193 a	10.788 a	4.505 a	4.042 a
Testigo	13.032 a	10.265 a	4.600 a	4.213 a

PBZ=Paclobutrazol. A=*Azospirillum*. M=Micorrizas. \*Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En el peso de 1000 granos no se detectaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 6), pero los granos cosechados de las plantas que recibieron alguna dosis de PBZ fueron 1.1% más pesados que los del testigo. El volumen de 1000 granos

varió estadísticamente, de tal manera que los cosechados de aquellas plantas que recibieron A+M+150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ o bien que fueron inoculadas con A+M, tuvieron 1.6% más de volumen que los del testigo.

El rendimiento de grano se expresó con las diferencias estadísticas que se pueden observar en el Cuadro 6, de tal manera que con la dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ se obtuvo un incremento de 49.4% en relación con el rendimiento promedio del testigo, el mismo promedio superó en 69.0, 40.9 y 13.9% a los obtenidos con los respectivos tratamientos de 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, A+M+150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ y A+M.

Cuadro 6. Peso, volumen y rendimiento de cultivo de maíz.

Tratamiento	Peso de mil granos (g)	Volumen de mil granos (mL)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
150 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	240.0 a*	605.0 b	6.550 a
200 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	240.0 a	610.0 ab	3.875 b
A+M+150 mg L <sup>-1</sup> de PBZ	240.0 a	620.0 a	4.650 ab
A+M	230.0 a	620.0 a	5.750 ab
Testigo	237.5 a	610.0 ab	4.385 ab

PBZ=Paclbutrazol. A=*Azospirillum*. M=Micorrizas. \*Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Estos resultados tienen relación con los de Espíndula *et al.* (2009), ya que ellos observaron que después de aplicar PBZ en dosis de 40, 80 ó 120 g ha<sup>-1</sup> sobre plantas de trigo, el rendimiento se incrementó en relación al del testigo. Asimismo tiene relación con los resultados obtenidos por García-Olivares *et al.* (2012), ya que ellos reportaron que la inoculación con *Azospirillum brasilense* incrementa en 35% el rendimiento de grano en maíz en comparación al de las plantas no inoculadas.

## VIII. CONCLUSIONES

Con la dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ se incrementó el contenido de clorofila, la materia seca de raíces y de la parte aérea, pero disminuyó la altura de las plántulas y el área de las hojas de melón y sandía, lo que indica que al aplicar PBZ sobre hojas cotiledonales se puede inducir que las plántulas sean más compactas.

El PBZ y *Asospirillum* más micorrizas, ocasionaron mayor intensidad en el verdor del follaje, así mismo, aumento en el diámetro de tallo y en el número de hileras por mazorca, pero disminuyó la altura de plantas de maíz.

El PBZ, en dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> PBZ ocasionó el mayor promedio de rendimiento de grano por hectárea, mientras que la asociación de éste con *Azospirillum* más micorrizas tuvo efecto en el incremento del rendimiento, pero no mayor que lo obtenido con el primer tratamiento.

## IX. LITERATURA CITADA

- Ali, A. R. 2009. Improving germination performance and chilling tolerance in cucumber seedlings with application of paclobutrazol tree growth regulator. *Jour. Arboric.* 22: 61-66.
- Bai, S., Chaney W. and Qi Y. 2004. Response of cambial and shoot growth in trees treated with paclobutrazol. *Journal Arboriculture* 30(3): 137-145.
- Bashan de, L. E., Antoun H. and Bashan Y. 2008. Involvement of indole-3-acetic-acid produced by the growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. in promoting growth of *Chlorella vulgaris*. *Journal of Plant Phycology* 44: 938-947.
- Bashan de, L. E., Hernandez J. P., Nelson N. K., Bashan Y. and Maier R. 2010. Growth of quailbush in acidic, metalliferous desert mine tailings: effect of *Azospirillum brasilense* Sp6 on biomass production and rhizosphere community structure. *Microbial Ecology* 60: 915-927.
- Bashan de, L. E., Holguin G., Glick B. R. y Bashan Y. 2007. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. *En: Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón A. (Eds.). Microbiología agrícola: hongos, bacteria, micro y macrofauna.* Trillas, México. pp. 177-224.
- Bashan, Y., Holguin G. y De Bashan L. E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. *Canadian Journal of Microbiology* 50: 521-577.
- Berova, M. and Zlatev Z. 2000. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant Growth Reg.* 30(2): 117-123.

- Burch, P. L., Wells R. H. and Kline W. N. 1996. Red maple and silver maple growth evaluated 10 years after application of paclobutrazol tree growth regulator. *Journal Arboriculture* 22: 61-66.
- Caballero-Mellado, J. 2006. Agriculture microbiology and microbe interaction with plants. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 48(2): 154-161.
- Camargo-Ricalde, S. L. 2001. Some biological aspects of the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 68: 15-32.
- Camargo-Ricalde, S. L. 2002. Dispersal, distribution and establishment of arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 71: 33-44.
- Díaz-Franco, A. y Ortegón M. A. 2006. Efecto de la inoculación con *Azospirillum brasilense* y fertilización química en el crecimiento y rendimiento de canola (*Brassica napus*). *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 63-67.
- Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo M., Cantú-Almaguer M. A. y Garza-Cano I. 2005. Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agric. Téc. Méx.* 31: 153-163.
- Early, J. D. and Martín G. C. 1988. Translocation and breakdown of <sup>14</sup>C-labelled paclobutrazol in Nemaguard peach seedlings. *HortScience* 23(1): 196-200.
- Espíndula, M. C., Rocha V. S., Grossi J. A. S., Souza M. A., Souza L. T. y Favarato L. F. 2009. Use of growth retardants in wheat. *Planta Daninha Vicosa* 27(2): 379-387.
- Fenech, L. L., Troyo D. E., Trasviña C. M., Ruiz E. F., Beltrán M. A., Murillo A. B., García H. J. y Zamora S. S. 2009. Relación entre un método no destructivo y uno de extracción destructivo, para medir el contenido de clorofila en hojas de plántula de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Universidad y Ciencia* 25(1): 99-102.

- García-Olivares, J. G., Mendoza-Herrera A. y Mayek-Pérez N. 2012. Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y Ciencia* 28: 79-84.
- García-Olivares, J. G., Moreno-Medina V. R., Rodríguez-Luna I., Mendoza-Herrera A. y Mayek-Pérez N. 2007. Efectos de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 305-310.
- George, A. P. and Nissen R. J. 2002. Control of tree size and vigor in custard apple (*Annona* spp. hybrid) cv. African Pride in subtropical Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42(4): 503-512.
- Gopi, R., Jaleel C. A., Divyanair V., Azooz M. M. and Panneerselvam R. 2009. Effect of paclobutrazol and ABA on total phenol contents in different parts of holy basil (*Ocimum sanctum*). *Acad. J. of plant Sci.* 2(2): 97-101.
- Grochowska, M. J., Hodun M. and Mika A. 2004. Improving productivity of four fruit species by growth regulators applied once in ultra-low doses to the collar. *The Journal of Horticulture & Science Biotechnology* 79(2): 252-259.
- Hernández-Mendoza, J. L., Moreno-Medina V. R., Quiroz-Velázquez J. D., García-Olivares J. G. y Mayek-Pérez N. 2010. Efectos de diferentes concentraciones de ácido antranílico en el crecimiento del maíz. *Revista Colombiana de Biotecnología* 12: 57-63.
- Iremiren, G. O., Adewumi P. O., Aduloju S.O. and Ibitoye A. A. 2002. Effects of paclobutrazol and nitrogen fertilizer on the growth and yield of maize. *J. of Agric. Sci.* 128: 425-430.
- Keever, G. J., Foster W. J. and Stephenson J. C. 1990. Paclobutrazol inhibits growth of woody landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture* 8(1): 41-47.

- Kivlin, S. N., Hawkes C. V., Treseder K. K. 2011. Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol Biochem.* 43: 294-303.
- Lilly, S. J. 2001. Arborists certification study guide. International Society of Arboriculture. Champaign, IL. 222 p.
- Martínez, T. T., Plascencia E. F. O. y Cetina A. V. M. 2013. Crecimiento y vitalidad de *Populus alba* L. con desmoche y tratado con paclobutrazol. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(3): 381-388.
- Miransari, M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake. *Arch Microbiol.* 193: 77-81.
- Navarro, A., Sánchez B. M. J. and Bañon S. 2007. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. *Scientia Horticulturae* 111(2): 133-139.
- Pallardy, S. G. 2008. *Physiology of Woody Plants*. Third edition. Academic Press. New York, USA. 464 p.
- Panta, G. R. and NeSmith D. S. 1995. A model for estimating area of muskmelon leaves. *Hortscience* 30 (3): 624-625.
- Partida, R. L., Velázquez A. T. de J., Díaz V. T., Ayala T. F y Acosta V. B. 2007. Crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena tratadas con paclobutrazol. *Rev. Fitot. Mexicana* 30(10): 145-150.
- Percival, G. C. and Albalushi A. M. S. 2007. Paclobutrazol-induced drought tolerance in containerized English and ever-green oak. *Arboriculture & Urban Forestry* 33(6): 397-409.
- Rojas, G. M. y Rovalo M. 1985. *Fisiología Vegetal Aplicada*. McGraw-Hill. D. F. 302 p.

- Rouphael, Y., Mouneimne A. H., Rivera C. M., Cardarelli M., Marucci A. and Colla G. 2010. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in grafted and ungrafted watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.). *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8(1): 161-165.
- Sezer, I., Oner F. and Mut Z. 2009. Non-destructive leaf area measurement in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Environmental Biology* 30(5): 785-790.
- Sharma, D. K., Dubey A. K., Srivastav M., Singh A. K., Sairam R. K., Pandey R. N., Dahuja A. and Kaur C. 2011. Effect of putrescine and paclobutrazol on growth, physiochemical parameters, and nutrient acquisition of saltsensitive citrus rootstock Karna khatta (*Citrus karna* Raf.) under NaCl stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 30(3): 301-311.
- SIAP. 2015. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (Consultado en noviembre de 2013).
- Siddiqui, Z. A., Akhtar M. S. and Futai K. 2008. *Mycorrhizae: sustainable agriculture and forestry*. Dordrecht, The Netherlands. Springer. p. 362.
- Simard, S. W. and Durall D. M. 2004. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany* 82: 1140-1165.
- Singh, Z. 2000. Effects of (2RS, 3RS) paclobutrazol on tree vigour, flowering, fruit set and yield in mango. *Acta Horticulturae* 525: 459-462.
- Steenhoudt, O. and Vanderleyden J. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiol. Reviews* 24: 487-506.
- Tadao, A., Kin M. Y., Nagata N., Yamagishi K., Takatsuto S., Fujioka S., Murofushi N., Yamaguchi I., Yoshida S. 2000. Characterization of brassinazole, a

triazole-type brassinosteroid biosynthesis inhibitor. *Plant Physiol.* 123: 93-99.

USDA. 2015. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Producción mundial de maíz 2012/2013. Disponible en <https://www.agropanorama.com/news/Producción-Mundial-de-maiz.htm>. Consultado en octubre de 2014.

Velázquez, A. T. J., Partida R. L., Acosta V. B. y Ayala T. F. 2008. Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. *Univ. y Cienc.* 24: 21-28.

Villegas, T. O y Lozoya S. H. 1991. Efecto del paclobutrazol (PBZ) sobre nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* W.) cultivar Gutbier V-10, bajo condiciones de invernadero en Chapingo, México. *Chapingo S. Hort.* 73-74: 77-80.

Watson, G. W. 1996. Tree root system enhancement with paclobutrazol. *Journal of arboriculture* 22(5): 211-217.

Williams, D. R., Potts B. M. and Smethurst P. J. 2003. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced by nitrogen fertilizer. *Canadian Journal of Forest Research* 33(1): 74-81.

## X. APÉNDICE

### ARTÍCULO CIENTÍFICO EN EXTENSO PUBLICADO EN EL XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, REALIZADO DEL 30 AL 31 DE OCTUBRE DE 2014 EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

#### APLICACIÓN DE PACLOBUTRAZOL SOBRE HOJAS COTILEDONALES Y RESPUESTA DE PLÁNTULAS DE MELÓN Y SANDÍA

##### RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2013-2014, para determinar el efecto que produce el paclobutrazol (PBZ), a través de la dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua, en el verdor, altura, área foliar, materia seca de raíz y parte aérea de plántulas de melón y sandía. La siembra se llevó a cabo el 21 de octubre de 2013 en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con turba. Los tratamientos fueron la dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de PBZ y el testigo (agua destilada). La solución de PBZ y agua destilada se aplicaron sólo una vez con un atomizador manual sobre las hojas cotiledonales. En melón y sandía el PBZ incrementó el verdor en 26 y 19.4%, comparado con los promedios del testigo; en melón, la altura y el área foliar disminuyeron en 16.3 y 30.6%, respectivamente, mientras que en sandía las respectivas disminuciones fueron de 23.4 y 18.8%. En las dos especies, la materia seca de raíces se incrementó en 82.1 y 19.7%, respectivamente; y aunque en materia seca de la parte aérea no hubo diferencias estadísticas, los incrementos fueron de 23.5% en melón y de 3.3% en sandía. De lo anterior se deduce que el PBZ es eficaz para hacer más compactas a las plántulas de melón y sandía.

**Palabras clave:** *Cucurbitáceas, Crecimiento, Plántulas.*

## ABSTRACT

This research was conducted at the Faculty of Agronomy of the Autonomous University of Sinaloa, Mexico, during the autumn-winter 2013-2014 season, to determine the effect produced by paclobutrazol (PBZ), through the dose of 150 mg L<sup>-1</sup> of water, in the greenness, height, leaf area, dry matter of root and aerial part of melon and watermelon seedlings. Sowing was carried out the October 21, 2013 in polystyrene trays of 200 cavities filled with peat moss. The treatments were the dose of 150 mg L<sup>-1</sup> of PBZ and the control (distilled water). The PBZ solution and distilled water were applied only once with a manual atomizer over the cotyledonal leafs. In melon and watermelon, PBZ increased the greenness at 26 and 19.4%, compared with the average of the control; in melon, height and leaf area decreased in 16.3 and 30.6%, respectively, while in watermelon the respective decreases were 23.4 and 18.8%. In both species, root dry matter increased by 82.1 and 19.7%, respectively, and although dry matter of the aerial part there were no statistical differences, it increased 23.5% in melon and 3.3% in watermelon. From the above, it follows that PBZ is effective to make more compact the melon and watermelon seedlings.

**Key words:** *Cucurbitaceae, Growth, Seedlings.*

## INTRODUCCIÓN

Entre las cucurbitáceas cultivadas están el melón y la sandía, de las cuales se sembraron 19,956 y 37,699 ha, respetivamente, durante el año agrícola (OI y PV) 2013, de donde se obtuvo una producción de 561,953 t de melón y 953,244 t de sandía (SIAP, 2014).

Pallardy (2008) reportó que el uso de reguladores de crecimiento es un medio alternativo para modificar el crecimiento de los brotes y la acumulación de biomasa. Las respuestas que se producen en las plantas por el uso de reguladores de crecimiento son diversas: hay alteración de compuestos en las yemas, redistribución de fotosintatos destinados al crecimiento de la copa hacia

compuestos de defensa, crecimiento del sistema radical y almacenamiento de energía (Lilly, 2001).

Actualmente son varias las tecnologías que se utilizan como retardantes de crecimiento, dentro de las cuales está el paclobutrazol (PBZ) que se caracteriza por retrasar la división y alargamiento celular en tejidos del brote en activo crecimiento, sin provocar malformaciones en los tallos o en las hojas (Rojas y Rovalo, 1985). Con dicha sustancia se ha sido capaz de reducir la elongación de brotes, la expansión de hojas y el crecimiento en diámetro del tallo en muchas especies de árboles (Burch *et al.*, 1996), ya que siendo un activo inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico, retarda la división y alargamiento celular y, en consecuencia, el crecimiento en longitud del tallo de las plantas (Tadao *et al.*, 2000). El retardante es absorbido pasivamente a través de las hojas, tallos y raíces, translocándose por el xilema hasta los puntos de crecimiento, donde al impedir la acción de la giberelina reduce la división celular en la parte subapical (Early y Martín, 1988).

Otros autores, como Keever *et al.* (1990), Singh (2000), George y Nissen (2002), Williams *et al.* (2003), Bai *et al.* (2004) y Grochowska *et al.* (2004), también han reportado que entre los reguladores de crecimiento se encuentra el paclobutrazol (PBZ), un inhibidor de las giberelinas que se aplica como solución al suelo donde se localizan las raíces de los árboles, que una vez absorbido y traslocado a la copa, éste provoca una reducción de crecimiento en longitud y diámetro de los brotes nuevos.

Diversos trabajos de investigación han demostrado la efectividad del PBZ para incrementar el crecimiento de raíces (Watson, 1996); aumentar el número, longitud y diámetro de raíces en pepino, cuando las semillas son remojadas en solución con  $40 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, pero la longitud del hipocótilo se reduce (Ali, 2009). En plántulas de pimiento morrón y berenjena, la dosis de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  incrementó la materia fresca y seca de raíz y la materia seca de la parte aérea (Partida *et al.*, 2007).

Villegas y Lozoya (1991) registraron que a través de las concentraciones de 2.0 y 4.0 mg L<sup>-1</sup> de agua, así como 120 y 160 mg de ingrediente activo, en aplicaciones al suelo y follaje, respectivamente, el PBZ inhibió el crecimiento de las plantas de nochebuena sin detrimento en el aspecto o diferenciación floral. En dosis de 1.0 mg L<sup>-1</sup> aplicado al suelo o de 25 mg L<sup>-1</sup> en aplicación foliar, el PBZ ha provocado que se reduzca la altura de plantas, se aumente el grosor del tallo y el desarrollo de raíces, se mejore la actividad fotosintética y el balance hídrico y con ello la calidad de plantas para trasplante, y se acelere la formación y cosecha de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Precador, sin dejar residuos de PBZ en los frutos (Berova & Zlatev, 2000).

Con la reducción en el crecimiento de las plantas que ocasiona el PBZ, se incrementa el almacenamiento de carbohidratos (sustancias de reserva de las plantas) y también se incrementa la producción de clorofila y con ello la de carbohidratos (Percival y Albalushi, 2007); sin embargo, en el árbol llamado chopo blanco (*Populus alba* L.), especie que en ambientes urbanos se utiliza con fines ornamentales, el PBZ (0.4 y 0.8 g/planta con poda severa) afectó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el crecimiento de tronco, hojas y la relación de azúcares totales/reductores, aunque el efecto se perdió en la siguiente etapa de crecimiento, y quizás debido a que los valores de fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) se vieron disminuidos, el PBZ no mejoró la vitalidad de la planta (Martínez *et al.*, 2013). Contrario a esto último, varios autores ha referido que el PBZ incrementa la vitalidad de las plantas, entendida ésta como la habilidad para tolerar estreses de origen biótico o abiótico (Navarro *et al.*, 2007; Percival y Albalushi, 2007; Sharma *et al.*, 2011).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en un invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado entre las coordenadas geográficas 24° 48' 28" latitud norte y 107° 24' 30" longitud oeste, km 17.5 carretera Culiacán-Eldorado, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2013-2014. Se utilizó melón chino 'Saturno' y sandía 'Jubilee', La siembra se realizó el 21 de octubre de 2013 en charolas de poliestireno con 200 cavidades rellenas con turba. Las plántulas se regaron con la frecuencia necesaria y se fertilizó con 1.0 g L<sup>-1</sup> de N, utilizando urea como fuente de nitrógeno.

El diseño experimental que se usó fue de bloques completos al azar con dos repeticiones, cada unidad experimental constó de 20 plantas seleccionadas al azar. Los tratamientos fueron las dosis de 0 (testigo) y 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ. Las dosis se aplicaron sólo una vez, a través de 25 disparos con un atomizador, sobre las hojas cotiledonales de las plántulas el día 30 de octubre de 2013. A los 8 días después de la aplicación (dda) del PBZ, se evaluó el índice de verdor con un SPAD 502, ésta se efectuó en la parte media de una hoja de 20 plantas seleccionadas al azar; la altura se midió a los 12 dda, desde la base del tallo hasta la yema apical de la planta. El área foliar se evaluó en la primera hoja verdadera a los 20 dda, fue calculada con base a la fórmula propuesta por Blanco y Follegati (2003), que es largo por ancho de la hoja entre la constante 0.851. Las raíces y parte aérea de las plántulas, 46 días después, se sometieron a 72 h en estufa hasta peso seco constante, para luego determinar el peso seco en una báscula de precisión.

Los análisis estadísticos se hicieron con el paquete estadístico MINITAB 16 y la comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se puede observar que el verdor de las hojas de melón tuvo su mayor expresión en las plántulas tratadas con 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, en relación con el testigo; el incremento fue de 26%, pero las mismas plántulas tuvieron 16.3% menos de altura y 31.6% menos de área foliar; sin embargo, la materia seca de raíz se incrementó en 82.1%, y aunque la materia seca de la parte aérea se expresó sin diferencias estadísticas, dicha materia se incrementó en 23.5%, en comparación al promedio de materia seca de las plántulas testigo.

Cuadro 1. Verdor, altura, área foliar, materia seca en raíz y de parte área de plántulas de melón (*Cucumis melo* L.).

Dosis de PBZ (mg L <sup>-1</sup> )	Verdor (U. Spad)	Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Materia seca	
				Raíz (g)	Parte aérea (g)
150	38.2 a*	11.3 b	7.955 b	0.1275 a	0.7475 a
0 (testigo)	32.0 b	13.5 a	10.475 a	0.0700 b	0.6050 a

PBZ=Pacllobutrazol. \*Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En plántulas de sandía, el PBZ ocasionó un incremento de 19.4% en el verdor en comparación con las testigo (Cuadro 2); también provocó que en altura crecieran 23.4% menos y en área foliar 19.1%; no obstante, la materia seca de las raíces se incrementó 19.7% y la de la parte aérea 3.3%.

Cuadro 2. Verdor, altura, área foliar, materia seca en raíz y de parte área de plántulas de sandía [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai].

Dosis de PBZ (mg L <sup>-1</sup> )	Verdor (U. Spad)	Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Materia seca	
				Raíz (g)	Parte aérea (g)
150	35.3 a*	9.5 b	6.197 b	0.1825 a	0.7775 a
0 (testigo)	27.9 b	12.4 a	7.660 a	0.1525 b	0.7525 a

PBZ=Pacllobutrazol. \*Medias con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El incremento del verdor, que tiene estrecha correlación con el contenido de clorofila, coincide con lo reportado por Percival y Albalushi (2007), ya que ellos también encontraron más clorofila en las plantas tratadas con PBZ, pero discrepa con los resultados reportados por Martínez *et al.* (2013), porque ellos observaron disminución de los valores de la fluorescencia de clorofila (Fv/Fm).

Los resultados en altura de las plántulas también coinciden con los de Keever *et al.* (1990), Singh (2000), George y Nissen (2002), Williams *et al.* (2003), Bai *et al.* (2004) y Grochowska *et al.* (2004), ya que estos autores han reportado que el PBZ, una vez absorbido y traslocado a la copa de las plantas, provoca reducción del crecimiento en longitud de los brotes nuevos. Por el lado de la disminución del tamaño de las hojas, los resultados aquí expuestos coinciden con los de Burch *et al.* (1996), puesto que ellos descubrieron que el PBZ, además de reducir la elongación de brotes, reduce la expansión de hojas en muchas especies de árboles. En tanto que los resultados en materia seca de raíces y de la parte aérea son coincidentes con los de Partida *et al.* (2007), toda vez que ellos descubrieron que en plántulas de pimiento morrón y berenjena, con la dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ se incrementó la materia fresca y seca de raíz y la materia seca de la parte aérea.

## **CONCLUSIÓN**

Con la dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ se incrementó el contenido de clorofila, la materia seca de raíces y de la parte aérea, pero disminuyó la altura de las plántulas y el área de las hojas de melón y sandía, lo que indica que al aplicar PBZ sobre hojas cotiledonales se puede inducir que las plántulas sean más compactas.

## **LITERATURA CITADA**

Bai, S., Chaney W. and Qi Y. 2004. Response of cambial and shoot growth in trees treated with paclobutrazol. *Journal Arboriculture* 30(3): 137-145.

- Berova, M. and Zlatev Z. 2000. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant Growth Reg.* 30(2): 117-123.
- Burch, P. L., Wells R. H. and Kline W. N. 1996. Red maple and silver maple growth evaluated 10 years after application of paclobutrazol tree growth regulator. *Journal Arboriculture* 22: 61-66.
- Early, J. D and Martín G. C. 1988. Translocation and breakdown of <sup>14</sup>C-labelled paclobutrazol in Nemaguard peach seedlings. *HortScience* 23(1): 196-200.
- George, A. P. and Nissen R. J. 2002. Control of tree size and vigor in custard apple (*Annona* spp. hybrid) cv. African Pride in subtropical Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42(4): 503-512.
- Grochowska, M. J., Hodun M. and Mika A. 2004. Improving productivity of four fruit species by growth regulators applied once in ultra-low doses to the collar. *The Journal of Horticulture & Science Biotechnology* 79(2): 252-259.
- Keever, G. J., Foster W. J. and Stephenson J. C. 1990. Paclobutrazol inhibits growth of woody landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture* 8(1): 41-47.
- Lilly, S. J. 2001. Arborists certification study guide. International Society of Arboriculture. Champaign, IL. 222 p.
- Martínez, T. T., Plascencia E. F. O. y Cetina A. V. M. 2013. Crecimiento y vitalidad de *Populus alba* L. con desmoche y tratado con paclobutrazol. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(3): 381-388.
- Navarro, A., Sánchez B. M. J. and Bañon S. 2007. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. *Scientia Horticulturae* 111(2): 133-139.

- Pallardy, S. G. 2008. Physiology of woody plants. Third edition. Academic Press. New York, USA, 464 p.
- Partida, R. L., Velázquez A. T. de J., Díaz V. T., Ayala T. F y Acosta V. B. 2007. Crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena tratadas con paclobutrazol. Rev. Fitot. Mexicana 30(10): 145-150.
- Percival, G. C. and Albalushi A. M. S. 2007. Paclobutrazol-induced drought tolerance in containerized English and ever-green oak. Arboriculture & Urban Forestry 33(6): 397-409.
- Rojas, G. M. y Rovalo M. 1985. Fisiología vegetal aplicada. McGraw-Hill. D. F. 302 p.
- Sharma, D. K., Dubey A. K., Srivastav M., Singh A. K., Sairam R. K., Pandey R. N., Dahuja A. and Kaur C. 2011. Effect of putrescine and paclobutrazol on growth, physiochemical parameters, and nutrient acquisition of saltsensitive citrus rootstock Karna khatta (*Citrus karna* Raf.) under NaCl stress. Journal of Plant Growth Regulation 30(3): 301-311.
- SIAP. 2014. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (Consultado en noviembre de 2014).
- Singh, Z. 2000. Effects of (2RS, 3RS) paclobutrazol on tree vigour, flowering, fruit set and yield in mango. Acta Horticulturae 525: 459-462.
- Tadao, A. Kin M. Y., Nagata N., Yamagishi K., Takatsuto S., Fujioka S., Murofushi N., Yamaguchi I. and Yoshida S. 2000. Characterization of brassinazole, a triazole-type brassinosteroid biosynthesis inhibitor. Plant Physiol. 123: 93-99.
- Villegas, T. O y Lozoya S. H. 1991. Efecto del paclobutrazol (PBZ) sobre nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* W.) cultivar Gutbier V-10, bajo

condiciones de invernadero en Chapingo, México. Chapingo S Hort. 73-74:  
77-80.

Watson, G. W. 1996. Tree root system enhancement with paclobutrazol. Journal of arboriculture 22(5): 211-217.

Williams, D. R., Potts B. M. and Smethurst P. J. 2003. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced by nitrogen fertilizer. Canadian Journal of Forest Research 33(1): 74-81.